Münster 1935 No 707 Med Diss

Aus dem Pharmakologischen Institut
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster in Westfalen.
Direktor: Professor Dr. med. et phil. H. Freund.

Ueber die Abhängigkeit der Hefegärung von der Wasserstoffionenkonzentration.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde der Hohen Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (Westf.)

vorgelegt von
Paul Thöne
(Zahnarzt)
aus Münster / Westf.

1935
Gedruckt in der Buchdruckerei Franz Grube, Werne a. d. Lippe.

Dekan: Professor Dr. Klinge.

Referent: Privatdozent Dr. med. et phil. W. Haarmann.

Korreferent; Professor Dr. med. et phil. H. Freund.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (Westf.)

Herrn Fabrikanten Ruhr
in Dankbarkeit gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547204_0102

Ueber die Abhängigkeit der Hefegärung von der Wasserstoffionenkonzentration.

Im Schrifttum liegen eine große Anzahl von Untersuchungen vor, die die Abhängigkeit der Gärungsgeschwindigkeit der Hefe von der Wasserstoffionenkonzentration behandeln. Besonders ist diese Frage von Hägglund, v. Euler, Trautwein und Wassermann bearbeitet worden. Die Ergebnisse dieser Autoren sind nicht einheitlich. Vor allem herrscht größte Uneinheitlichkeit der Ansichten über die Einwirkung von alkalischen Lösungen auf den Zuckerabbau durch Hefe. Zum Teil beruht diese Unstimmigkeit darauf, daß die einzelnen Autoren die Hefegärung mit verschiedenen Versuchsanordnungen quantitativ verfolgten. Als Maß der Gärung wurde einmal der Zuckerverbrauch bestimmt, dann aber wieder die Gärung durch Bestimmung der freiwerdenden CO_2-Menge gemessen. Es wurde dabei meist nicht ausreichend berücksichtigt, daß der größte Teil der CO_2 in der alkalischen Lösung zurückgehalten wird. Hinzu kommt, daß bei neutraler und saurer Reaktion der Zucker durch Hefe nach der ersten Vergärungsform, die wie alle Vergärungsformen von Neuberg aufgefunden wurden, abgebaut wird: $C_6H_{12}O_6 = 2\ CH_3\ CH_2OH + 2\ CO_2$. In alkalischer Lösung, $p_H > 8$ tritt die dritte Vergärungsform ein:

$$2C_6H_{12}O_6 + H_2O = C_2H_5OH + CH_3COOH + 2CO_2 + 2CH_2OH \cdot CHOH \cdot CH_2OH.$$

Nach der dritten Vergärungsform wird also aus der gleichen Menge Glukose nur die Hälfte CO_2 und nur ein Viertel C_2H_5OH gebildet neben Essigsäure und Glyzerin, die bei der ersten Vergärungsform überhaupt nicht auftreten. Die Bestimmung der CO_2 und des Aethylalkohols, der von einigen Untersuchern ermittelt wurde, kann mithin nicht als Maß für die Größe des Zuckerumsatzes dienen. Aus der Betrachtung der dritten Vergärungsform geht weiterhin hervor, daß die alkalische Reaktion

durch die gebildete Essigsäure in ungenügend gepufferten Lösungen schnell verschwindet und sodann die Vergärung nach der ersten Vergärungsform einsetzt. Als genaues Maß für die Größe des Zuckerabbaues durch Hefe darf daher nur der Zukkerschwund betrachtet werden.

Wie die Durchsicht der älteren Literatur zeigt, sind in den früheren Versuchen die Versuchsbedingungen meist ungenau angegeben und wesentliche Faktoren nicht berücksichtigt worden. Meist sind die Säurewerte nicht einwandfrei bestimmt worden, indem man sich darauf beschränkt hat, die Säuremengen zu messen, die zur Herstellung der Pufferlösungen verwendet wurden. Man hat dabei nicht berücksichtigt, daß diese Säuren durch andere in der Hefe enthaltene Stoffe z. T. neutralisiert werden.

In älteren Arbeiten, die noch nicht mit den modernen wissenschaftlichen Methoden ausgeführt wurden, hat man den Versuch unternommen, die Wirkungsstärke der Säuren mit ihrer Neutralisationswärme in Beziehung zu bringen. Diese Arbeiten sind überholt und brauchen daher nicht berücksichtigt zu werden. Später wurde versucht, die Dissoziationstheorie zur theoretischen Grundlage für die Säureempfindlichkeit der Hefegärung zu machen. Es sei hier vor allem die Arbeit von Johannessohn[1]) angeführt. Johannessohn untersuchte den Einfluß einiger organischer Säuren auf die Hefegärung und kam zu dem Ergebnis, daß nicht die Ionen, sondern das nicht dissoziierte Säuremolekül für die Größe der Hefegärung die Hauptrolle spielt. Die Hefegärung wird durch hohe Säurekonzentrationen aufgehoben. Die abtötende Wirkung ist dabei nicht eine Funktion des Wasserstoffions, sondern wird im wesentlichen durch die Art des Säurerestes bedingt. Durch Zusatz von Neutralsalzen wird die Dissoziation der Säuren herabgesetzt, die gärungshemmende Wirkung der organischen Säuren aber gesteigert. Es kann sich bei der Gärungshemmung mithin nicht um eine Wirkung des H-Ions handeln.

Die Untersuchungen von Johannessohn besitzen für die organischen Säuren volle Gültigkeit, nicht aber für die Mineralsäuren. Es herrscht hier volle Einstimmigkeit darüber, daß für die Gärung hauptsächlich die Wasserstoffionenkonzentration verantwortlich ist. Es sei hier daran erinnert, was bislang in keiner Arbeit berücksichtigt wurde, daß alle Mineralsäuren nicht fett — also auch nicht lipoidlöslich sind, mithin auch nicht in die Zelle eindringen können. Die organischen Säuren dagegen sind

[1]) Johannessohn: Biochem. Z. 47, 97, 1912.

lipoidlöslich und können in der Zelle ihre spezifische Giftwirkung entfalten. Nach Untersuchungen von Paul[2]) ist die Desinfektionswirkung der Essigsäure und Buttersäure viel stärker als die der Salzsäure von gleichem H-Gehalt. Sie folgern aus ihren Versuchen an Staphylokokken, „daß nicht die H-Ionenkonzentration allein die ausschlaggebende Rolle bei der Desinfektionswirkung der Säuren spielt, und daß das Anion der Säure sich bei diesem Vorgang in erheblichem Maße beteiligt." Die Autoren nehmen an, „daß die Anionen, ohne Desinfizientien zu sein, die Eigenschaft besitzen, die desinfizierende Wirkung des Wasserstoffions zu beschleunigen, d. h. sie besitzen die Eigenschaften von spezifischen Giftkatalysatoren." Die Forscher folgern weiterhin, „daß sowohl die Anionen wie die undissoziierten Moleküle zur Erklärung dieser starken Giftwirkung herangezogen werden müssen." Erwähnt sei, daß die von Paul und Johannessohn untersuchten organischen Säuren in Aether leicht löslich sind, während die Mineralsäuren ätherunlöslich sind. Es sei hier vorweg genommen, daß die Erklärung der Giftwirkung der organischen Säuren wie Paul sie gibt, sich ganz mit unseren Befunden deckt.

Ueber die p_H-Empfindlichkeit der Hefegärung ist viel gearbeitet worden, sodaß unsere Kenntnisse hier ziemlich vollständig sind. Die Versuche wurden fast ausschließlich in Phosphatpufferlösungen ausgeführt. Eine vollständige p_H-Kurve der Gärung einer Oberhefe haben Euler und Heintze[3]) ermittelt. Sie fanden ein außerordentlich breites Optimum von $p_H = 3{,}0$—$7{,}5$. Noch bei $p_H = 2{,}0$ und $p_H = 8{,}0$ sind die Gärungsgeschwindigkeiten erheblich. Das gleiche trifft nach Euler u. Emberg[4]) auch für Unterhefe zu. Die Zuckerabnahme wurde von Euler und Mitarbeitern titrimetrisch nach Bertrand bestimmt. Die Befunde von Hägglund und Augustson[5]) stimmen mit den Ergebnissen von Euler und Mitarbeitern mit Ausnahme von $p_H > 8$ überein. Sie fanden bei $p_H = 8$ eine starke Hemmung der Hefegärung. Ihre Befunde sind jedoch nicht beweiskräftig, weil sie die Gärungsgröße durch Messung der gebildeten CO_2-Menge ermittelt haben. Sie hatten übersehen, daß der größte Teil dieses Gases in der alkalischen Lösung gebunden wird. Später bestimmten Hägglund, Söderblom und Troberg[6]) die Größe der Hefevergärung am Zuckerverbrauch. Die

[2]) Paul, Th.: Biochem. Z. 29, 202, 1910.
[3]) Euler u. Heintze: Zeitschr. f. physiol. Chem. 108, 165, 1919.
[4]) Euler u. Emberg: Zeitschr. f. Biol. 69, 349, 1919.
[5]) Hägglund u. Augustson: Biochem. Z. 155, 334, 1925.
[6]) Hägglund, Söderblom und Troberg: ebenda 169, 200, 1926.

Ergebnisse, die sie mit dieser Versuchsanordnung erhielten, waren andere wie im ersteren Falle bei Bestimmung der CO_2-Menge. Die Gärung verlief in einem Bereich von $p_H = 4{,}0—8{,}5$ mit derselben Geschwindigkeit. Bei der Wasserstoffionenkonzentration, entsprechend $p_H = 10{,}0$, trat keine Gärung mehr auf. Das Gärungsoptimum ist nach Hägglund u. Augustson[7]) in erheblichem Grade von der Art der Säure, Zuckerart und dem Zeitpunkt der Beobachtung abhängig. Die höchste Gärtätigkeit tritt bei Anwesenheit von Milchsäure, Phosphorsäure und Brenztraubensäure in der ersten halben Stunde bei $p_H = 4{,}5$ auf. Im Laufe der Zeit verschiebt sich in den Versuchen mit Phosphorsäure das Optimum nach der alkalischen Seite und beträgt $p_H = 5{,}5—6{,}0$. Bei Anwendung von Milchsäure erfolgt diese Verschiebung des Optimums nicht. Unter der Essigsäurewirkung stellt sich von vorneherein das Optimum auf $p_H = 5{,}5—6{,}0$ ein. Spezifische Einflüsse des Säurerestes sind also für diese Verschiebung des Optimums verantwortlich zu machen. Das gleiche Verhalten finden wir auch beim Stärkeabbau durch diastatische Fermente (vgl. Ringer u. van Trigt[8])).

In jüngster Zeit wurde die Frage der p_H-Empfindlichkeit der gärenden Bierhefe erneut von Trautwein und Wassermann[9]) bearbeitet. Die Gärungsgröße wurde von ihnen bei alkalischer Reaktion durch Bestimmung des gebildeten Alkohols und in saurer Reaktion durch die Menge der freiwerdenden CO_2 gemessen. Die p_H-Kurven der Gärung stimmen auf der sauren Seite mit denen früherer Autoren überein, auf alkalischem Gebiet fällt die Kurve steil ab, und die Gärung ist bei $p_H = 8{,}0$ fast vollkommen aufgehoben. Diese Befunde stehen im Widerspruch mit denen älterer Untersuchungen. Worauf diese Unterschiede zurückzuführen sind, wurde nicht geklärt. Wahrscheinlich dürfte die verwendete Heferasse dafür verantwortlich sein, da ja jeder Hefestamm seine besondere Giftempfindlichkeit aufweist.

Versuchanordnung.

Es war die Aufgabe der vorliegenden Arbeit, erneut den Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration auf die Gärung der Hefe zu untersuchen. Geprüft wurden 1. eine gewöhnliche Bäckerhefe

---

[7]) Hägglund u. Augustson: l. c.
[8]) Ringer u. van Trigt: Z. f. physiol. Chem. 82, 484, 1912.
[9]) Trautwein und Wassermann: Biochem. Z. 236, 35, 1931.

des Handels, 2. eine untergärige Bierhefe aus der Germania-Brauerei, Münster/Westf.. Die Hefe wurde mit Wasser gründlich ausgewaschen und das Waschwasser auf einer Porzellannutsche scharf abgesaugt. Als Gärsubstrat diente Traubenzucker (Dextropur). Die Konzentration der Glukose in den Versuchsansätzen betrug 10 %, desgleichen der Hefezusatz. Die verwendeten Puffermischungen wurden nach den Angaben von Michaelis[10]) und Kolthoff[11]) hergestellt, der Acetat-Veronal-Puffer nach Michaelis[12]). Letzterer Puffer enthielt keinen NaCl-Zusatz. Die Versuche wurden 4 Std. lang bei Zimmertemperatur der Gärung überlassen und sodann die Zuckerabnahme polarimetrisch ermittelt. Die Gärung in den Versuchsansätzen wurde durch Zusatz von 5 ccm Phosphatpufferlösung (m/10,p_H = 7,36) und 5 ccm 30%iger Bleiacetatlösung unterbrochen. Die Bleiacetatlösung enthielt einen Zusatz von 0,5 % Monobromessigsäure, weil sich in früheren Versuchen herausgestellt hatte, daß der Bleiacetatzusatz allein nicht genügt, die Gärung zum Stillstand zu bringen, was durch Monobromessigsäure sofort erreicht wird. Durch Umsetzung von Bleiacetat mit Phosphat entsteht Bleiphosphat, an das sich alle kolloidalen Substanzen adsorbieren, sodaß die Mischung sich leicht filtrieren läßt und das Filtrat sofort stets klar ist, ein Umstand, der für die polarimetrische Bestimmung des Zuckerabbaues von großer Wichtigkeit ist. Die Versuche wurden in der Weise angesetzt, daß zunächst die Gärungsgröße der Hefe in den verschiedenen Puffermischungen bestimmt wurde. Aus der Zuckerabnahme ergibt sich, bei welchem Puffergemisch die Gärungsgröße ihr Maximum hat, bzw. niedrige Werte aufweist. Sodann wurden an der gleichen Hefe und bei bestimmten Puffern die p_H-Werte elektrometrisch ermittelt. Auf diese Weise erhält man die p_H-Werte zu Beginn der Hefegärung. Die elektrometrische Bestimmung wurde nach der von Dr. G. Roeder angegebenen Methode durchgeführt.[13]) Das Prinzip des Verfahrens beruht darauf, daß man die zu untersuchende Substanz mit einer Lösung vergleicht, deren Wasserstoffionenkonzentration durch Zuträufeln von Lauge langsam solange verändert wird, bis sie von derselben Größe ist wie die der Analysensubstanz. Dabei muß die zu untersuchende Lösung anfänglich einen höheren H-Ionen-Gehalt haben als die Standardlösung. Die Menge der verbrauch-

[10]) Michaelis: Die Wasserstoffionenkonzentration, Berlin, Springer, 1914.
[11]) Kolthoff: Der Gebrauch von Farbenindikatoren, Berlin, Springer, 1921.
[12]) Michaelis: Biochem. Z. 234, 139, 1931.
[13]) Der Apparat wird hergestellt von der Firma Dr. N. Gerber's Co.-M. B. H. Leipzig.

ten Lauge ergibt auf Grund einer festgelegten elektrometrischen Eichung unmittelbar die erreichte Wasserstoffionenkonzentration der Vergleichslösung bzw. also auch die mit dieser Lösung gleich große der Analysenlösung. Durch diese Methode wird die p_H-Bestimmung zu einer einfachen, auch von weniger Geübten auszuführenden Titration. Um den Punkt zu erkennen, in dem beide Lösungen die gleiche Wasserstoffionenkonzentration besitzen, verbindet man die beiden Lösungen durch einen leitenden Schlüssel (Kaliumchlorid-Agarheber) und taucht in diese Lösungen Elektroden ein, die auf die Wasserstoffionenkonzentration ansprechen. Ein an die Elektroden angeschlossenes Kapillarelektrometer zeigt in dem Moment keinen Ausschlag mehr, in dem die H-Konzentration in beiden Lösungen gleich ist. Der Umschlagspunkt ist sehr scharf und bis auf einen halben Tropfen genau; jedoch muß man darauf achten, daß die Lösungen stets mit Chinhydron gesättigt sind und daß mit dem Rührer eine gründliche Aufwirbelung und Mischung erzielt wird. Durch Anwendung von verschiedenen Vergleichslösungen wie Ameisensäure, Essigsäure, primärem Kaliumphosphat und Borsäure, wird ein p_H-Bereich von 2,8 bis 8,8 erreicht. Als ein Nachteil ist es anzusehen, daß man infolge der Verwendung von Chinhydron-Elektroden nicht weiter ins alkalische Gebiet gehen kann. Dagegen aber weist diese Methode unter Vermeidung von allzu empfindlichen Apparateteilen, wie Normalelement, Akkumulator, Kalomelelektrode und Meßbrücke, neben ihrer Billigkeit und großen Handlichkeit den Vorzug der genauesten p_H-Bestimmung auf.

Versuchsergebnisse.

Der Glukoseabbau durch Bäcker- und Bierhefe wurde durch eine Reihe von Puffermischungen von bestimmtem p_H vorgenommen. Als Puffersubstanzen wurden verwendet:

1. Milchsäure + milchsaures Natrium,
2. Essigsäure + essigsaures Natrium,
3. Weinsäure + weinsaures Natrium,
4. primäres Natriumphosphat + sekundäres Natriumphosphat,
5. sekundäres Natriumphosphat + Natronlauge,
6. Natriumacetat-Veronal + Salzsäure.

In Tabelle 1 wurde eine ansteigende p_H-Reihe der Puffergemische durch Laktat-, Acetat- und Phosphatpuffer erreicht, in Tabelle 2 durch Tartrat-, Acetat- und Phosphatpuffer, in Tabelle 3 durch Acetat-Veronalpuffer. Man erhält auf diese

Tabelle 1.

Puffer	p_H der Suspensionsflüssigk.	Bäckerhefe: Drehung: 0	Bäckerhefe: Diff. Drehung	Bäckerhefe: Glukoseabbau: % des Kontrollvers.	Bierhefe: Drehung: 0	Bierhefe: Diff. Drehung	Bierhefe: Glukoseabbau: % des Kontrollvers.
direkt	—	10,31	—	—	10,40	—	—
Kontr.	—	4,17	6,14	100	3,85	6,55	100
Laktat m/6	2,92	6,84	3,47	56	6,63	3,77	57
	3,22	3,85	6,46	105	6,63	3,77	57
	3,52	3,18	7,13	116	6,56	3,84	59
	3,82	3,17	7,24	118	5,36	5,04	77
	4,12	3,20	7,11	116	3,67	6,73	103
	4,43	3,31	7,00	114	2,93	7,47	114
	4,75	3,91	6,40	104	2,79	7,61	116
Acetat m/6	3,80	7,78	2,53	41	7,57	2,83	43
	4,10	7,73	2,58	42	7,55	2,85	43
	4,40	7,69	2,62	43	7,67	2,73	42
	4,70	7,66	2,65	43	7,62	2,78	43
	5,00	6,97	3,34	54	7,33	3,07	47
	5,30	6,67	3,64	59	7,09	3,31	51
Phosphat m/30	5,53	3,92	6,39	104	3,44	6,96	106
	5,82	3,57	6,74	109	2,56	7,84	119
	6,10	3,38	6,93	113	2,41	7,99	122
	6,40	3,02	7,29	119	2,31	8,09	123
	6,70	2,87	7,44	121	2,13	8,27	126
	7,00	2,85	7,46	122	2,02	8,38	128
	7,30	2,89	7,42	121	2,19	8,21	125
	7,70	2,77	7,54	123	2,23	8,17	125
	8,00	2,63	7,68	125	2,10	8,30	127
m/60	8,30	2,29	8,02	130	2,09	8,31	127
	9,40	2,67	7,64	124	2,32	8,08	123
	10,97	3,36	6,95	113	3,02	7,38	113
	11,29	3,46	6,85	111	3,29	7,11	108
	11,54	3,64	6,67	108	4,05	6,35	97
	11,77	3,92	6,39	104	5,41	4,99	76
	12,06	4,39	5,92	96	6,31	4,09	62

Tabelle 2.

		Bäckerhefe			Bierhefe		
Puffer	p_H der Suspensionsflüssigk.	Drehung: 0	Diff. Drehung	Glukoseabbau: % des Kontrollvers.	Drehung: 0	Diff. Drehung	Glukoseabbau: % des Kontrollvers.
direkt	—	10,05	—	—	10,47	—	—
Kontr.	—	3,85	6,20	100	4,23	6,24	100
Tartrat m/30	1,40	4,09	5,96	96	6,71	3,76	60
	1,70	3,85	6,10	99	6,48	3,99	64
	2,00	3,58	6,47	104	6,38	4,09	66
	2,40	3,39	6,66	107	5,34	5,13	82
	2,70	3,12	6,93	112	4,64	5,83	94
	3,00	3,07	6,98	113	4,13	6,34	102
	3,30	2,83	7,22	116	3,94	6,53	105
	3,60	2,85	7,20	116	3,35	7,12	114
	3,89	2,92	7,13	115	3,52	6,95	112
Acetat m/30	3,80	7,33	2,72	44	8,08	2,39	38
	4,10	7,38	2,67	43	8,07	2,40	38
	4,40	7,43	2,62	42	7,81	2,66	43
	4,70	7,14	2,91	47	7,42	3,05	49
	5,00	6,10	3,95	64	6,59	3,88	62
	5,30	4,35	5,70	92	5,06	5,41	87
	5,60	6,66	3,39	55	7,58	2,89	46
	5,92	6,37	3,68	57	7,11	3,36	54
Phosphat m/30	5,53	3,61	6,44	104	4,12	6,34	102
	5,82	3,32	6,73	109	3,84	6,63	106
	6,10	2,92	7,13	115	2,58	7,89	127
	6,40	2,63	7,42	120	2,31	8,16	131
	6,70	2,63	7,42	120	2,40	8,07	130
	7,00	2,66	7,39	119	2,10	8,37	134
	7,30	2,59	7,46	120	2,21	8,26	132
	7,70	2,65	7,40	119	2,58	7,89	126
	8,00	2,57	7,48	121	3,01	7,46	119

Weise Auskunft darüber, ob für die Größe des Zuckerabbaues und der Hefegärung neben der Wasserstoffionenkonzentration auch der Säurerest, das Anion, beteiligt ist.

Tabelle 3.

Acetat — Veronal - Puffer

	Bäckerhefe			Bierhefe		
p_H der Suspensionsflüssigk.	Drehung: 0	Differ. Drehung	Glukoseabbau: % des Kontrollvers.	Drehung: 0	Differ. Drehung	Glukoseabbau: % des Kontrollvers.
direkt	10,70	—	—	10,50	—	—
Kontrolle	5,12	5,58	100	4,12	6,38	100
2,62	7,85	2,85	51	8,93	1,57	25
3,20	7,96	2,74	49	7,82	2,68	42
3,62	7,89	2,81	50	7,96	2,54	40
3,88	7,62	3,08	55	7,92	2,58	40
4,13	7,45	3,25	58	7,35	3,15	49
4,33	7,44	3,26	58	7,34	3,16	49
4,66	6,79	3,91	70	6,71	3,79	59
4,93	6,30	4,40	78	6,06	4,44	69
5,12	6,09	4,61	82	5,70	4,80	75
5,32	5,68	5,02	90	5,52	4,98	78
5,72	5,04	5,76	103	5,09	5,41	85
6,12	5,13	5,57	100	5,10	5,40	85
6,43	4,90	5,80	104	4,86	5,64	88
6,75	4,68	6,02	107	4,67	5,83	91
6,99	4,23	6,47	115	4,69	5,81	91
7,25	4,02	6,68	119	4,16	6,34	99
7,42	3,95	6,75	122	4,09	6,41	100
7,66	3,43	7,27	129	4,02	6,47	101
7,90	3,45	7,25	129	4,19	6,31	99
8,18	3,35	7,35	131	3,92	6,58	103
8,55	3,57	7,13	127	3,96	6,54	102
8,68	3,80	6,90	123	3,60	6,90	108
8,90	3,88	6,82	122	4,43	6,07	95
9,16	3,97	6,73	120	4,39	6,11	95
9,64	3,97	6,73	120	4,62	5,88	92

Laktatpufferlösung hemmt bei höheren Säuregraden die Hefegärung. Bei einem p_H der Puffermischung von 2,92, entsprechend einem p_H von 3,17 für Bäckerhefe und 3,10 für Bierhefe zu Beginn der Gärung in den Versuchsansätzen, ist die

Gärung beider Hefen sehr stark gehemmt (über 40 %), aber noch nicht aufgehoben. Mit Verminderung des Säuregrades verläuft bei Bäckerhefe und einem p_H von 3,22 die Gärung gegenüber dem Kontrollversuch mit Wasser ungestört und wird mit ansteigendem p_H optimal bei 3,82, entsprechend einem p_H von 3,78 zu Versuchsbeginn, um faßt 20 % angeregt. Die Gärung fällt dann wieder ab und ist bei $p_H = 4{,}75$ (4,67) gegenüber der Kontrolle unverändert. Die H-Empfindlichkeit der Bierhefe ist von der der Bäckerhefe verschieden. Mit abnehmender Säuerung steigt die Gärungsgröße langsam an und ist bei $p_H = 4{,}12$ maximal. Bei $p_H = 4{,}75$ (4,67) machen die Steigerungen denselben Betrag aus wie für Bäckerhefe in dem p_H-Bereich von 3,52 bis 4,43. Bei einem p_H von 3,52 beträgt die Gärungsgröße der Bierhefe 59 % des Kontrollversuches, die der Bäckerhefe 116 %. Die Bäckerhefe vergärt bei dem gleichen Säuregrad ungefähr doppelt so schnell wie Bierhefe. Bierhefe ist mithin säureempfindlicher als Bäckerhefe.

Das gleiche Verhalten finden wir auch in Tartratpufferlösung. Das Optimum der Wirkung finden wir für Bäckerhefe bei einem sehr breiten p_H-Intervall, mit einem p_H der Tartratpufferlösung von 2,70—3,89, bei Bierhefe $p_H = 3{,}6$ bis 3,89. Einem p_H von 3,60 der Pufferlösung entspricht ein p_H von 4,32 zu Versuchsbeginn, mithin annähernd der gleiche Säuregrad, der auch beim Laktatpuffer optimal ist. Die p_H-Werte der Hefeansätze mit der Tartratlösung $p_H = 1{,}40$ konnten mit der angewandten Methode elektrometrisch nicht bestimmt werden, weil sie unter den p_H-Werten der Standard-Ameisensäure liegen. Sie sind demnach niedriger als $p_H = 1{,}94$. Bei dieser extrem sauren Reaktion ist die Gärung der Bäckerhefe noch nicht geschädigt worden, die der Bierhefe dagegen um 40 % herabgesetzt. Die Versuche zeigen, daß die Hefegärung selbt gegen hohe Säuregrade der Weinsäure sehr unempfindlich ist, besonders gilt das für die Bäckerhefe. Diese Feststellung spricht dafür, daß der Säurerest von ausschlaggebender Bedeutung für die Gärungsgröße ist.

Hierzu liefern die Acetatversuche einen weiteren Beitrag. m/6 Acetat- Essigsäure hemmt die Hefegärung selbst bei einem für Tartrat und Laktat optimalen p_H sehr stark (Tabelle 1 und 2). Die Hemmung beträgt bei $p_H = 3{,}80$ (4,06) bei Bäckerhefe und 4,0 bei Bierhefe um 56 % bzw. 62 %, in Tabelle 1 beim gleichen p_H um rund 60 %. Die Hemung läßt mit ansteigendem p_H in m/6 Acetat-Essigsäurelösung nur langsam nach, in verdünnter Acetatlösung m/30 (Tabelle 2) erfolgt bei $p_H = 5{,}30$ ein

plötzlicher Anstieg der Gärungsgröße bis auf 92 % bzw. 87 % des Kontrollversuches ohne Säurezusatz, fällt mit ansteigendem p_H aber sehr steil ab. Die höchsten Gärwerte sehen wir also bei $p_H = 5{,}3$, ohne daß die Gärung gegenüber dem Kontrollversuch beschleunigt verläuft. Wir stellen mithin eine spezifische Hemmung der Hefegärung durch Acetation fest, die für Bäcker- und Bierhefe von der gleichen Größenordnung ist. Die beiden Hefen zeigen also die gleiche Giftempfindlichkeit gegen Acetat, nicht aber gegen Tartrat und Laktat.

In Gegenwart von Phosphat wird die Hefegärung sowohl von Bäcker- wie Bierhefe angeregt und zwar um annähernd den gleichen Betrag. Bei stärkerer alkalischer Reaktion (Tabelle 1) läßt der Zuckerabbau nur durch Bierhefe nach, nicht aber durch Bäckerhefe. Eine Hemmung gegenüber dem Kontrollversuch tritt bei Bäckerhefe nicht auf. In Phosphatpufferlösung bleibt die Gärungsgröße beider Hefen innerhalb eines breiten Optimums konstant. In sekundärer Phosphatlösung ($p_H = 8{,}3$) beträgt der p_H zu Versuchsbeginn 7,88. Die höheren p_H-Werte konnten mit unsererMethode elektrometrisch nicht bestimmt werden. Die Reaktion während der Gärung wird durch die CO_2-Entwicklung wesentlich saurer als in der Pufferlösung. Nur soviel kann gesagt werden, daß auch in alkalischer Reaktion der Zukkerabbau sehr erheblich ist. Aus unseren Versuchen ist die Steigerung der Gärung durch Phosphat deutlich zu ersehen. Bedenken wir, daß durch die bekannten Untersuchungen von Harden festgestellt wurde, daß zum Zustandekommen der Gärung Phosphat unbedingt notwendig ist, so wird die aktivierende Wirkung von Phosphat verständlich.

In den bisher besprochenen Versuchen war der Säuregrad über die ganze p_H-Reihe nicht durch ein und denselben Puffer gewährleistet, sondern es mußten eine Reihe von verschiedenen Puffermischungen gewählt werden. Es hatte sich dabei gezeigt, daß der Säurerest eine spezifische Wirkung ausübt. Um diesen Uebelstand nach Möglichkeit zu verhüten, wurde in den Versuchen der Tabelle 3 Natriumacetat-Veronal-Salzsäure-Puffer verwendet, der einen sehr breiten p_H-Bereich von 2,62 bis 9,64 umfaßt. Der Acetat- und Veronalgehalt ist bei diesem Puffer konstant. Auch dieser Puffer ist für unsere Untersuchungen nur bedingt brauchbar, weil wir den Acetateinfluß in Kauf nehmen müssen. Es zeigte sich, daß bei einem H-Gehalt von $p_H = 2{,}62$ der Pufferlösung, entsprechend einem p_H von 1,92 zu Versuchsbeginn, der Zuckerabbau durch Bäckerhefe um 50 % verzögert ist, der durch Bierhefe sogar um 75 %. Mit Abnehmen der Säue-

rung läßt die Hemmung nach und geht für Bierhefe bei einem p_H von 5,72 in eine Förderung über, die bei $p_H = 8{,}18$ ihr Maximum mit einer Steigerung von 31 % hat. Die elektrometrische Bestimmung des p_H zu Versuchsbeginn ergab 7,26. Selbst bei der stärksten alkalischen Reaktion von $p_H = 9{,}64$ ist die Gärung stark beschleunigt. Die elektrometrische Bestimmung ergab 8,60 zu Versuchsbeginn. Die Gärung von Bierhefe verhält sich vollkommen abweichend von der der Bäckerhefe. Hier sehen wir mit Ausnahme des p_H-Bereiches von 7,25—8,68, in dem praktisch keine Einwirkung auftritt, lediglich einen verzögerten Zuckerabbau in Gegenwart von Acetat-Veronal-Puffer. Die Giftempfindlichkeit der beiden Hefen ist, wie wir bereits für Tartrat und Laktat festgestellt haben, grundsätzlich verschieden.

Besprechung der Versuchsergebnisse.

Unsere Versuche bilden im Großen und Ganzen eine Bestätigung der Ergebnisse der eingangs erwähnten Autoren. In Tartratpufferlösung und Laktat finden auch wir die stärkste Gärung bei einem p_H von ca. 4,50 und in Acetatpufferlösung bei $p_H = 5{,}50$. In Phosphatpufferlösung beobachteten wir in Uebereinstimmung mit von Euler und Hägglund ein sehr breites p_H-Optimum. Die Befunde von Trautwein und Wassermann fanden in unseren Versuchen keine Bestätigung. Die Gärungsgröße ist selbst bei einem p_H von 8,0 noch sehr erheblich. Als ein Mangel der Versuchsanordnung früherer Autoren muß bezeichnet werden, daß Kontrollversuche ohne Pufferzusatz nicht ausgeführt wurden. Es wurde z. B. ein Optimum der Gärung in Acetatpuffer festgelegt, ohne daß geprüft wurde, ob die Gärung bei diesem optimalen p_H größer ist als in wässriger Lösung. Unsere Versuche erbrachten den Nachweis, daß Acetat bei allen herstellbaren p_H die Hefegärung stark hemmt. Die Hemmungswirkung ist dem Acetation zuzuschreiben, nicht dem Säuregrad, da m/30 Acetat die Hefegärung wesentlich schwächer herabsetzt als m/6 Acetat. Die Ergebnisse von von Euler und Heintze, die für die nichtdissoziierte Essigsäure eine starke Giftwirkung fanden, decken sich mit unseren Befunden. In Veronal-Acetatpuffer ist das Wirkungsoptimum wie in Phosphatpuffer sehr breit und nach der alkalischen Seite verschoben. In saurer Lösung ist die Hefegärung stets herabgesetzt.

Zusammenfassung.

Es wurde der Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration auf die Gärung von Bier- und Bäckerhefe untersucht. Die p_H Empfindlichkeit der beiden Hefen ist verschieden. Bierhefe ist gegen höhere Säuregrade von Milch- und Weinsäure empfindlicher als Bäckerhefe, nicht aber gegen Acetat, Phosphat und Acetat-Veronal. Das Gärungsoptimum tritt in Tartrat- und Laktatpuffer bei einem p_H von rund 4,5 auf, in Acetatpuffer bei einem p_H von 5,5, in Phosphatpufferlösung ist das Gärungsoptimum sehr breit und liegt zwischen $p_H = 6{,}0$ bis 8,0, in Acetat-Veronalpuffer zwischen $p_H = 7{,}0$—8,0. Ein bestimmtes p_H-Optimum der Hefegärung gibt es mithin nicht. Es wechselt je nach Art der Heferasse und der als Pufferlösung dienenden Salze. Durch hohe Säuregrade von Wein- und Milchsäure wird die Hefegärung relativ wenig beeinflußt. Acetation hemmt die Hefegärung, Phosphation dagegen beschleunigt sie.

Lebenslauf.

Am 2. Oktober 1910 bin ich zu Münster i. W. geboren. Nach fünfjährigem Volkschulbesuch in Rietberg, bezog ich das Progymnasium dortselbst und legte Ostern 1931 in Beckum die Reifeprüfung ab. Danach widmete ich mich an der Westf. Wilhelmsuniversität zu Münster dem Studium der Zahnmedizin und legte nach drei vorklinischen Semestern die zahnärztliche Vorprüfung ab und nach weiteren vier klinischen Semestern das zahnärztliche Staatsexamen. Zur Promotion belegte ich noch ein achtes Semester.